

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA**

LEANDRO JOSÉ MASCHIO

**Desenvolvimento e otimização de materiais
hipergólicos para aplicação em motores
foguetes**

Lorena

2017

LEANDRO JOSÉ MASCHIO

**Desenvolvimento e otimização de materiais
hipergólicos para aplicação em motores
foguetes**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais na Área de Concentração: Materiais Convencionais e Avançados.

Orientador: Dr. Ricardo Vieira

Versão Original

**Lorena
2017**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Automatizado
da Escola de Engenharia de Lorena,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Maschio, Leandro José

Desenvolvimento e otimização de materiais
hipergólicos para aplicação em motores foguete /
Leandro José Maschio; orientador Ricardo Vieira -
Versão Original. - Lorena, 2017.
127 p.

Tese (Doutorado em Ciências - Programa de Pós
Graduação em Engenharia de Materiais na Área de
Materiais Convencionais e Avançados) - Escola de
Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo.
2017
Orientador: Ricardo Vieira

1. Peróxido de hidrogênio. 2. Etanol. 3.
Monoetanolamina. 4. Green propellants. I. Título. II.
Vieira, Ricardo, orient.

*Dedico esta tese de doutorado aos meus pais,
Raul e Alice,
pelos ensinamentos e total apoio.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, acima de tudo, por me proporcionar mais essa experiência de vida.

Agradeço ao Dr. Ricardo Vieira pela orientação, pela amizade e pela compreensão nos momentos difíceis que enfrentei durante o período de realização desse trabalho. Pela oportunidade de desenvolver este trabalho e pela confiança que depositou em meu potencial.

Agradeço às minhas irmãs Luciana e Lucilene pelo constante apoio em minha vida. Também agradeço ao meu cunhado Claudinei pela motivação constantemente concedida.

Aos amigos André Navarro, Leonardo Gouvea, Luís Gustavo, Rafael Matias, Sayuri e William Müller pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho bem como pela amizade e companhia, o que tornou a rotina e o ambiente de trabalho mais agradáveis.

Aos eternos amigos de Santa Fé do Sul Vanderson Maschio e Caroline Prado, Renan Cascarano, Renato Alonso, Diego Donatoni, Natália, Victor, Valéria, Rodolfo, Thalita, Denis Borba e Éder Prado pela indiscutível amizade, pelo apoio e por todos os marcantes momentos que frequentemente juntos vivenciamos.

Ao Departamento de Engenharia de Materiais da EEL-USP e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por fornecer as condições necessárias à realização deste trabalho e ao pessoal da oficina mecânica do LCP/INPE, sob a liderança do Sr. Francisco Carlos, pelos serviços prestados na construção de peças e equipamentos.

Ao Roman Savonov pela ajuda no dimensionamento do injetores.

Agradeço à FAPESP, CAPES e CNPq pelo apoio financeiro concedido.

À empresa Peróxidos do Brasil Ltda, por fornecer o peróxido de hidrogênio utilizado neste trabalho.

RESUMO

MASCHIO, L.J. **Desenvolvimento e otimização de materiais hipergólicos para aplicação em motores foguete**. 2017. 127p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2017.

Nas últimas décadas, tem havido um crescente interesse pelo desenvolvimento de novos sistemas propulsivos que permitam conciliar baixo custo, reduzido impacto ambiental, menor tempo de desenvolvimento e maior segurança de operação. Dentro deste contexto, este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um combustível para motor foguete, com baixa toxicidade e elevada densidade de empuxo, à base de etanol e monoetanolamina catalisada com diferentes materiais catalíticos e hipergólico com o peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Primeiramente, foi desenvolvido um sistema para concentração do H_2O_2 . Paralelamente, foram estudados os fatores físicos e químicos que influenciam o tempo de indução do par hipergólico e elaborado um programa experimental para avaliar a velocidade de ignição dos diferentes catalisadores dissolvidos na monoetanolamina. Dentre os materiais catalíticos testados o nitrato de cobre foi aquele que apresentou o melhor desempenho. A proporção dos constituintes do combustível, ideal, foi de 61,0% de monoetanolamina e 30,1% de etanol e 8,9% de $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ em massa. Finalmente, os resultados analíticos e experimentais geraram informações para a fabricação e testes de um propulsor de 50 N de empuxo teórico, operando com este combustível e com H_2O_2 90% como oxidante. Este estudo mostrou que a adição de etanol ao sistema reduz, significativamente, o atraso de ignição e aumenta o impulso específico do sistema. O custo destes propelentes é bem inferior àqueles empregados tradicionalmente em propulsão e o desempenho bastante similar, não sendo, entretanto, agressivos ao meio ambiente.

Palavras-chave: Peróxido de hidrogênio. Etanol. Monoetanolamina. *Green propellants*.

ABSTRACT

MASCHIO, L.J. **Development and optimization of hypergolic materials for use in rocket engines.** 2017. 127p. Thesis (Doctoral of Science) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2017.

In recent decades, interest in development of new propulsion systems has grown. The new systems reconcile low cost, reduced environmental impact, quick development, and safer operation. The objective of this study was to develop a rocket fuel that was not highly toxic and had high thrust density. The fuel is based on ethanol and monoethanolamine; Different catalysts and hypergolic materials were used with hydrogen peroxide (H_2O_2). While an H_2O_2 concentration system system was developed, the physical and chemical factors that influenced the induction time of hyperbolic pairs were studied and an experimental program was developed that would evaluate the ignition speed different catalysts that were dissolved in monoethanolamine. Copper nitrate was the best catalyst of those tested. The ideal ratio of fuel components was 61.0% monoethanolamine to 30.1% ethanol to 8.9% $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ by mass. Finally, the experimental and analytical results generated the information needed for manufacture and testing of the thruster. The thruster could theoretically generate 50 N of thrust using the ideal fuel and 90% H_2O_2 as an oxidant. This study showed that adding ethanol to the system significantly reduced ignition delay and increased the system's specific thrust. This fuel costs much less than those that are normally used in rockets and the performance is very similar. In addition, it causes less damage to the environment.

Keywords: Hydrogen peroxide. Ethanol. Monoethanolamine. Green propellants.